






Diode-pumped laser amplifier

Patent number: DE10043269
Publication date: 2002-04-04
Inventor: HOLLEMANN GUENTER (DE); SYMANOWSKI JAN (DE)
Applicant: JENOPTIK JENA GMBH (DE)
Classification:
- **international:** H01S3/08; H01S3/093
- **european:** H01S3/08
Application number: DE20001043269 20000829
Priority number(s): DE20001043269 20000829

Also published as:

 US6661568 (B2)
 US2002036821 (A1)
 JP2002141589 (A)
 GB2370684 (A)
 FR2813451 (A1)

more >>

Abstract not available for DE10043269

Abstract of corresponding document: **US6661568**

In a diode-pumped laser amplifier the inventive object is to increase the tolerance of the amplifier arrangement relative to variations of the input parameters significantly, so that fine-tuning is no longer necessary for guaranteeing the stability of the amplifier. Into a laser-active solid-state medium where a thermal lens of a strength which is different in orthogonal planes is generated in consequence of the irradiated pump radiation, a laser beam to be amplified is directed into the laser-active solid-state medium while being focused in the plane with a strong thermal lens, wherein a beam waist that is being generated lies in the area of the thermal lens. The laser amplifier can be used for amplifying the radiation of an oscillator.

THIS PAGE BLANK (USPTO)



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 100 43 269 A 1

51 Int. Cl. 7:
H 01 S 3/08
H 01 S 3/093

21 Aktenzeichen: 100 43 269.7
22 Anmeldetag: 29. 8. 2000
43 Offenlegungstag: 4. 4. 2002

DE 100 43 269 A 1

71 Anmelder:
JENOPTIK AG, 07743 Jena, DE

72 Erfinder:
Hollemann, Günter, 07749 Jena, DE; Symanowski,
Jan, 07743 Jena, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

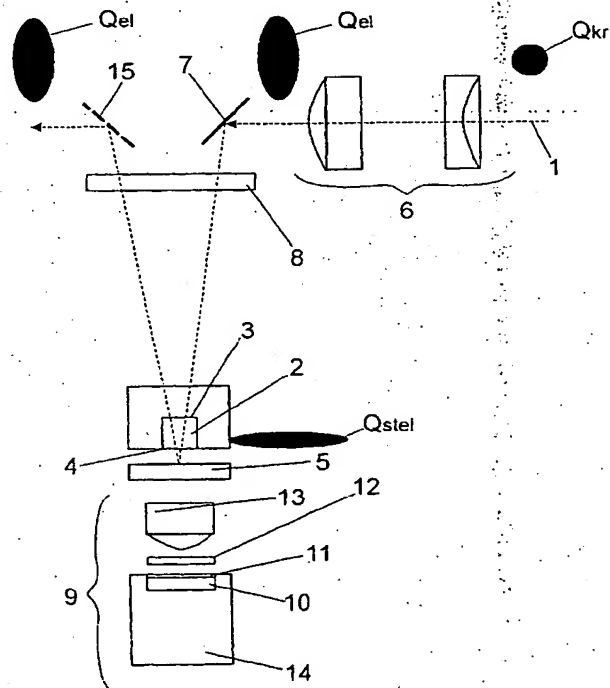
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Diodengepumpter Laserverstärker

57 Bei einem diodengepumpten Laserverstärker besteht die Aufgabe, die Toleranz der Verstärkeranordnung gegenüber Schwankungen der Eingangsparameter wesentlich zu erhöhen, so dass auf Feinabstimmungen zur Gewährleistung der Stabilität des Verstärkers verzichtet werden kann.

In ein laseraktives Festkörpermedium, in dem sich infolge der eingestrahlteten Pumpstrahlung eine thermische Linse mit unterschiedlicher Stärke in zueinander senkrechten Ebenen ausbildet, wird ein zu verstärkender Laserstrahl in der Ebene mit starker thermischer Linse fokussiert in das laseraktive Festkörpermedium gerichtet, wobei eine sich bildende Strahltaile im Bereich der thermischen Linse liegt.

Der Laserverstärker ist zur Verstärkung einer Oszillatorstrahlung verwendbar.



DE 100 43 269 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen diodengepumpten Laserverstärker mit mindestens einem laseraktiven Festkörpermedium, das von modenangepassten Strahlen einer Pumpstrahlung und einer zu verstärkenden Laserstrahlung durch-

gesetzt ist und in dem sich infolge der eingestrahnten Pumpstrahlung eine thermische Linse mit unterschiedlicher Stärke in zueinander senkrechten Ebenen ausbildet.

[0002] Es ist allgemein bekannt, dass Grundmodeoszillatoren im Festkörperlaserbereich aufgrund der optothermischen Eigenschaften der verwendeten laseraktiven Medien nur bis zu einer bestimmten Ausgangsleistung ausgelegt werden können. Zur Erzeugung hoher Leistungen werden Oszillatoren deshalb häufig mit im Strahlengang nachgeordneten Laserverstärkern kombiniert, mit denen die hohe Strahlqualität der Oszillatorstrahlung aufrechterhalten werden kann.

[0003] Eine solche Oszillator-Verstärker-Anordnung hat auch den Vorteil, einen Oszillator gezielt mit relativ niedriger Leistung betreiben zu können. Bei einem modengekoppelten Kurzpulslaser kann auf diese Weise ein resonatorintern angeordneter sättigbarer Halbleiterabsorber vor einer zu starken Belastung geschützt werden.

[0004] Bekannte Anordnungen, wie z. B. nach der US 5 237 584, haben den Nachteil einer hohen Justierempfindlichkeit. Dem aus mehreren Stufen bestehenden Verstärker wird die Oszillator-Ausgangsstrahlung modenangepasst zugeführt. Der Verstärker enthält diodengepumpte Laserkristalle mit gegenüberliegend angeordneten Faltsiegeln. Zur Kompensation der sich in den Kristallen ausbildenden starken thermischen Linsen ist eine hochgenaue Abstimmung der Krümmungsradien der Spiegel und deren Abstände zu den Laserkristallen erforderlich. Ansonsten ist ein stabiles optisches System nicht gewährleistet. Gravierender Nachteil in solchen seriellen Aufbauten ist, dass individuelle Exemplarschwankungen immer nachjustiert werden müssen. Bereits geringfügige Änderungen, wie z. B. alterungsbedingte oder andere Schwankungen der Diodenparameter sowie Exemplarschwankungen der Kristalle führen durch die sehr geringe Toleranzbreite zum Systemzusammenbruch.

[0005] Noch stärker ausgeprägt sind die genannten Nachteile bei einem Lasersystem nach der US 5 696 786, da hier auf zwischenabbildende Elemente verzichtet wird und somit keine Möglichkeiten einer Anpassung des Strahlengangs hinsichtlich der thermischen Linsen existieren. Solche Laseranordnungen haben typischerweise nur kleine Betriebsfenster bezüglich der Diodenströme.

[0006] Alternativ kann der gefaltete Strahlengang auch in einem Kristall realisiert werden (US 5 271 031), indem mehrfach hintereinander verschiedene gepumpte Bereiche dieses Kristalls durchlaufen werden. Auch diese Anordnung weist die Nachteile der US 5 696 786 auf.

[0007] Schließlich ist es nach der DE 195 21 943 für eine longitudinal gepumpte Festkörperlaservorrichtung bekannt, dass sich mit einem langgestreckten Pumpspot aufgrund des sich in dem Laserkristall ausbildenden Isothermenfeldes von der Gestalt relativ flacher Ellipsen spontan und unkontrolliert konvexe torische oder Zylinderlinsen erzeugen lassen.

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es, die Toleranz der Verstärkeranordnung gegenüber Schwankungen der Eingangsparameter wesentlich zu erhöhen, so dass auf Feinabstimmungen zur Gewährleistung der Stabilität des Verstärkers verzichtet werden kann.

[0009] Die Aufgabe wird durch einen diodengepumpten Laserverstärker mit mindestens einem laseraktiven Festkörpermedium gelöst, das von modenangepassten Strahlen ei-

ner Pumpstrahlung und einer zu verstärkenden Laserstrahlung durchgesetzt ist und in dem sich infolge der eingestrahnten Pumpstrahlung eine thermische Linse mit unterschiedlicher Stärke in zueinander senkrechten Ebenen ausbildet, indem der Strahl der Laserstrahlung in der Ebene mit starker thermischer Linse fokussiert in das laseraktive Festkörpermedium gerichtet ist, wobei eine sich bildende Strahltaile im Bereich der thermischen Linse liegt.

[0010] Zur Strahltaillenbildung dient ein in der Ebene mit starker thermischer Linse fokussierendes Element, z. B. in Form einer Zylinderlinse, die, mit dem Abstand ihrer Brennweite vom Ort der thermischen Linse entfernt, im Strahlengang der Laserstrahlung angeordnet ist.

[0011] Da der herzustellende Abstand zwischen der Zylinderlinse und dem laseraktiven Medium keine Funktion der thermischen Linse ist, reicht die einmalige Einstellung des nominalen Abstandes der Brennweite aus. Individuelle thermische Linsen, wie sie in laseraktiven Festkörpermedien bei Verstärkern mit mehreren Verstärkerstufen vorzufinden sind, brauchen zur Herstellung eines stabilen Systems nicht mehr berücksichtigt werden. Es hat sich gezeigt, dass eine im Bereich einer Strahltaile liegende thermische Linse die Strahlpropagation nicht beeinflusst. Im Gegensatz zu den Lösungen des Standes der Technik, bei denen der Einfluss von thermischen Linseneffekten auf den Strahlenverlauf durch hochempfindliche Justierarbeiten kompensiert werden muss, ist die Wirkung der thermischen Linse bei der Erfindung bereits durch die Verstärkerkonfiguration praktisch beseitigt. Der Laserstrahl erfährt eine Modenanpassung, die in Ebenen mit unterschiedlich starken thermischen Linsen unabhängig voneinander ist. Da dadurch Verstärkung, Strahlqualität und Strahlparameter des Verstärkers auch unempfindlich gegenüber Schwankungen der Diodenparameter sind, können die als Laserdiodenzeilen ausgebildeten Pumpdioden elektrisch in Serie und bei derselben Temperatur betrieben werden. Durch voneinander verschiedene individuelle Diodenlaserkennlinien und spektrale Eigenschaften hervorgerufene unterschiedliche thermische Linsen verlieren im Gegensatz zu den Lösungen des Standes der Technik ebenfalls ihre Wirkung und brauchen nicht durch aufwendige Justiermaßnahmen ausgeglichen werden.

[0012] Mit Hilfe der Erfindung lässt sich ein kompakter, kostengünstiger Verstärker aufbauen, welcher in der Anzahl seiner streng modularen Verstärkerstufen skalierbar ist, indem der Ausgang einer jeden Verstärkerstufe, mit Ausnahme einer Endstufe, den Eingang einer nachfolgenden Verstärkerstufe bildet. Es wird eine Verstärkeranordnung zur Verfügung gestellt, bei der trotz einer Vorhandenen geringen Exemplarschwankung des Verstärkers breite Fertigungstoleranzen bei der Herstellung der benötigten einfachen Standardkomponenten zugelassen sind.

[0013] Mit der Anordnung kann die Strahlung von Oszillatoren mit niedriger Leistung und insbesondere bei modengekoppeltem Betriebsregime unter Beibehaltung der vom Oszillator definierten und durch die Beugungsmaßzahl M^2 bestimmten Strahlqualität verstärkt werden. Es ist gelungen, einen seriellen Verstärker mit hoher Stabilität und Reproduzierbarkeit aufzubauen. Des weiteren kann mit Hilfe der Erfindung der Einsatz von preiserhöhenden und die Effektivität verschlechternden Strahlformungsoptiken für die Pumpdioden vermieden werden, mit denen sonst eine Umordnung im Sinne einer Symmetrisierung der Strahlparameterprodukte für die schnelle und die langsame Achse der Diode erfolgt.

[0014] Vorteilhafterweise wird als Pumpstrahlenquelle mindestens eine Laserdiodenzeile eingesetzt, bei der Mittel zur Kollimation der schnellen Achse und Mittel zum Fokussieren der Diodenstrahlung in einen elliptischen Pumpfokus

zur Erzeugung der in zueinander senkrechten Ebenen mit unterschiedlicher Stärke ausgebildeten thermischen Linse vorgesehen sind.

[0015] Zur Verbesserung der Strahlqualität der Laserdiodenzeile kann auch eine zusätzliche Kollimation der langsamen Achse vorteilhaft sein.

[0016] Für die Einstellung der Polarisierung kann eine $\lambda/2$ -Phasenverzögerungsplatte vorgesehen sein.

[0017] Die Pumpstrahlung und die Laserstrahlung sind durch sich gegenüberliegende Strahldurchtrittsflächen in das laseraktive Festkörpermedium gerichtet. Da die Strahldurchtrittsfläche für die Pumpstrahlung hochreflektierend für die Wellenlänge der Laserstrahlung ausgebildet ist, tritt die Laserstrahlung nach einer Reflexion erneut durch das laseraktive Festkörpermedium und das fokussierende Element hindurch.

[0018] Ein zur Laserstrahlaufweitung in der Ebene mit schwacher thermischer Linse dienendes optisches Element am Eingang des Verstärkers kann als Zylinderlinsen-Galilei-Teleskop oder als anamorphotisches Prismenpaar ausgebildet sein.

[0019] Es ist von Vorteil, wenn im Strahlengang der Laserstrahlung mindestens ein abbildendes Element zur Kompensation der in der einen Ebene schwachen thermischen Linse vorgesehen ist. Das kann entweder ein als Faltspiegel ausgelegter Zylinderspiegel oder sphärischer Spiegel sein oder man ordnet im Strahlengang des aus dem laseraktiven Festkörpermedium austretenden Laserstrahls eine langbrennweitige konvexe Zylinderlinse oder eine langbrennweitige sphärische Linse an.

[0020] Als laseraktives Festkörpermedium kann ein Nd:YVO₄-Kristall mit 0,5% Dotierung dienen, der mit einer Wellenlänge in einem Bereich von 803 nm bis 809 nm gepumpt wird.

[0021] Die Erfindung soll nachstehend anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen:

[0022] Fig. 1 den Aufbau eines Verstärkermoduls

[0023] Fig. 2 den Strahlengang im Verstärkermodul in der Sagittalebene

[0024] Fig. 3 den Strahlengang im Verstärkermodul in der Tangentialebene

[0025] Fig. 4 einen vierstufigen Verstärker, bestehend aus vier Verstärkermodulen

[0026] Fig. 5 den Verlauf des Strahldurchmessers in einem Verstärker gemäß Fig. 4 in der Sagittalebene

[0027] Fig. 6 den Strahldurchmesser in den Laserkristallen des Verstärkers nach Fig. 4 in Abhängigkeit von der Stärke der thermischen Linse in der Sagittalebene

[0028] Fig. 7 den Strahldurchmesser am Verstärkerausgang des Verstärkers nach Fig. 4 in Abhängigkeit von der Stärke der thermischen Linse in der Sagittalebene

[0029] Fig. 8 den Verlauf des Strahldurchmessers im Verstärker gemäß Fig. 4 in der Tangentialebene

[0030] Das in Fig. 1 dargestellte Verstärkermodul dient zur Verstärkung einer Laserstrahlung, insbesondere eines kollimierten Laserstrahls 1, der von einem nichtdargestellten Oszillator erzeugt wird und im vorliegenden Ausführungsbeispiel von kreisförmigem Strahlquerschnitt Q_{kr} ist.

[0031] Ein als Laserkristall 2 ausgeführtes laseraktives Festkörpermedium weist zwei sich gegenüberliegende Strahldurchtrittsflächen 3, 4 auf, von denen eine unmittelbar benachbart zu einem Pumpspiegel 5 angeordnet ist. Der Pumpspiegel 5, der auch als Oberflächenbeschichtung der Strahldurchtrittsfläche 4 ausgebildet sein kann, ist für die Pumpwellenlänge durchlässig und für die Wellenlänge der Laserstrahlung hochreflektierend. Die optisch aktive Strahldurchtrittsfläche 3 kann für die Pumpwellenlänge und die Laserwellenlänge in Normalschnitt anti-reflektierend be-

schichtet sein. Die erforderliche Pumpwellenlänge liegt für den vorzugsweise als Nd:YVO₄-Kristall mit einer beispielsweise 0,5%igen Dotierung ausgebildeten Laserkristall 2 zwischen 803 und 809 nm. Für das vorliegende Ausführungsbeispiel sind Kristalle in den Abmessungen von $1 \times 4 \times 4$ mm³ geeignet. Außer Nd:YVO₄ Kristallen können auch andere Seltenerd-dotierte Kristalle verwendet werden.

[0032] Der eingestrahelte Laserstrahl 1 wird zunächst in einer ersten Ebene, der Tangentialebene E_{tan} , mittels eines Zylinderlinsen-Galilei-Teleskops 6 in einen elliptischen Strahlquerschnitt Q_{el} von geringem Halbachsenverhältnis (Aufweitung um das 2 bis 3-fache) entsprechend dem Vergrößerungsfaktor des Teleskops 6 aufgeweitet. Alternativ kann dafür auch ein anamorphotisches Prismenpaar verwendet werden. Sofern der Oszillator bereits einen elliptischen Laserstrahl zur Verfügung stellt, kann selbstverständlich auf die eingangsseitige Strahlformung verzichtet werden. Ein im Strahlengang nachgeordneter erster Faltspiegel 7 lenkt den Laserstrahl 1 durch eine Zylinderlinse 8, die den kollimierten Laserstrahl 1 in einer zweiten Ebene, der Sagittalebene E_{sag} , in den Laserkristall 2 fokussiert. Der in der Tangentialebene E_{tan} nach wie vor kollimierte Laserstrahl 1 (Fig. 3) durchsetzt den Laserkristall 2, modenangepasst zum Pumpstrahl, mit einem stark elliptischen Fokus Q_{stel} . Die Zylinderlinse 8 ist im Abstand ihrer Brennweite f_{zyl} von einer sich im Laserkristall 2 bildenden thermischen Linse TL angeordnet, so dass die entstehende Strahltaile in deren Bereich liegt (Fig. 2).

[0033] Der an dem Pumpspiegel 5 reflektierte Laserstrahl 1 ist nach seinem zweiten Durchtritt durch die Zylinderlinse 8 auch in der Sagittalebene E_{sag} wieder kollimiert mit dem gleichen elliptischen Querschnitt wie vor dem ersten Durchtritt durch die Zylinderlinse 8.

[0034] Zur Pumpstrahlerzeugung ist ein Diodenlasermodule 9 vorgesehen, das in einem nichtdargestellten abgedichteten Gehäuse mindestens eine Laserdiodenzeile 10 mit einer Kollimationsoptik 11 für die schnelle Achse, eine optionale $\lambda/2$ -Phasenverzögerungsplatte 12 zur Einstellung der Polarisierung und eine Asphäre 13 zur Pumpstrahlfokussierung in den Laserkristall 2 enthält. Nicht dargestellt ist eine optionale Kollimation der langsamen Achse zur Verbesserung der Strahlqualität der Laserdiodenzeile 10. Des Weiteren ist es auch möglich, anstatt der Asphäre 13 eine sphärische Linse oder Linsenanordnung zu verwenden.

[0035] Das Gehäuse schützt die Modulelemente vor Staub, Feuchte, chemischen Dämpfen, elektrostatischer Entladung und mechanischer Beschädigung. Die Laserdiodenzeile 10 ist mit geeigneten Montagetechnologien auf einem als Wärmesenke dienenden Kupferkörper 14 befestigt.

[0036] Der mit diesen Mitteln erzeugte Pumpstrahl ist wie der Laserstrahl 1 stark elliptisch ausgebildet, wobei der Strahlquerschnitt innerhalb des quasi-longitudinal gepumpten Laserkristalls 2 durch eine Ausdehnung in der sagittalen Ebene von beispielsweise 1 μ m bis 500 μ m und in der tangentialen Ebene von beispielsweise 0,5 mm bis 3 mm gekennzeichnet ist. Ein derartig elliptisch ausgebildeter Pumpstrahl verursacht in dem Laserkristall 2 eine thermische Linse, die in den zueinander senkrecht stehenden Ebenen E_{sag} und E_{tan} aufgrund eines richtungsabhängig unterschiedlichen Temperaturgradienten verschieden stark ausgebildet ist. So können die Brennweiten der thermischen Linse in der Sagittalebene E_{sag} , in der auch die schnelle Achse der Laserdiodenzeile 10 verläuft, in einem Bereich von 40 mm bis 200 mm und in der Tangentialebene E_{tan} von 1000 mm bis 4000 mm liegen. Die thermische Linse in der Tangentialebene E_{tan} besitzt aufgrund ihrer langen Brennweite kaum eine störende abbildende Funktion in Bezug auf den zu verstärkenden Laserstrahl 1. Mit zunehmender Brennweite

kann die Wirkung praktisch ausgeschlossen werden.

[0037] Eine schwache Restwirkung der thermischen Linse in der Tangentialebene E_{tan} kann aber auch in einfacher Weise durch zusätzlich im Verstärkermodul angeordnete abbildende Elemente, wie durch eine langbrennweitige, konvex gekrümmte Zylinderlinse oder eine sphärische Linse oder aber durch eine besondere Ausbildung vorhandener Elemente kompensiert werden. Dafür kann ein im Strahlengang am Ausgang des Verstärkermoduls angeordneter zweiter Faltspiegel 15 benutzt werden, mit dem der Laserstrahl 1 durch Reflexion beispielsweise einer nächsten Verstärkerstufe in Form eines weiteren Verstärkermoduls zur Verfügung gestellt werden kann. Der hier gestrichelt dargestellte Faltspiegel 15 ist zu diesem Zweck zylindrisch oder sphärisch konvex auszuführen und erforderlichenfalls entsprechend zu neigen. Beim Einsatz von sphärischen Spiegeln ist die Beeinflussung der Strahlung in der Sagittalebene E_{sag} aufgrund von großen Krümmungsradien nur gering, was in Fig. 5 deutlich wird. Das trifft auch auf die langbrennweitigen sphärischen Linsen zu, da in der Sagittalebene E_{sag} nur kurzbrennweitige Linsen die Abbildung bestimmen. In jedem Fall ist eine unabhängige Anpassung der Moden in der Tangentialebene E_{tan} über die Einstellung des Linsenabstands im Zylinderlinsenteleskop 6 möglich. Sofern eine Korrektur der Restwirkung der thermischen Linse TL in der Tangentialebene E_{tan} nicht erforderlich ist oder durch Korrekturlinsen erfolgt, kann der zweite Faltspiegel 15 auch als Planspiegel ausgebildet sein.

[0038] Der in Fig. 4 dargestellte mehrstufige Verstärker enthält eine der Anzahl der Verstärkerstufen angepasste Zahl an Verstärkermodulen, deren Elemente gleichbezeichnet zu den Elementen in Fig. 1 sind. Die den Laserkristallen 2 zugeordneten Diodenlasermodule 9 bilden die Pumpeinrichtung für den Verstärker. Die einzelnen Laserdiodenzeilen 10 werden elektrisch vorzugsweise in Serienschaltung und bei derselben Diodentemperatur betrieben.

[0039] Dem hier pro Verstärkerstufe vorgesehenen Laserkristall können auch mehrere Laserdiodenzeilen zugeordnet sein. Denkbar sind aber ebenso auch Anordnungen mit mehreren Laserkristallen pro Laserdiodenzeile.

[0040] Für die abbildenden Elemente vorgesehene Justiermittel 16 bis 22 dienen dazu, einen justierten Zustand für den Verstärker herzustellen. Da dieser Zustand ebenso wie der durch die Brennweite f_{Zyl} bestimmte Abstand zwischen der Zylinderlinse 8 und der thermischen Linse unabhängig von der Größe der starken thermischen Linse in der Sagittalebene E_{sag} ist, sind weitere Anpassungen, insbesondere bei einer Änderung des Diodenstromes nicht erforderlich.

[0041] Während die Modenanpassung in Fig. 1 nur einseitig zum Verstärkermodul mit Hilfe von Zylinderlinsen erfolgt, ist, basierend auf der Symmetrie der Anordnung, auch am Ausgang eine geeignete Modenanpassung in Form eines Zylinderlinsenteleskops 23 vorgesehen, um zueinander symmetrische Strahlen am Eingang- und am Ausgang zu erzeugen. Die weit unterhalb ihrer Bruchgrenze betriebenen Laserkristalle 2 sind mit Hilfe von geeigneten Montagetechnologien, wie Löten, Pressen in Indium oder Kleben auf einer Wärmesenke 24 befestigt.

[0042] Der mehrstufige Verstärker gemäß Fig. 4 weist die in den Fig. 5 bis 8 dargestellten Strahlcharakteristika auf. In Abhängigkeit vom Abstand zu dem nichtdargestellten Oszillator ist der Strahldurchmesser des Laserstrahls 1 in der Sagittalebene E_{sag} hauptsächlich durch die Wirkung der Zylinderlinsen 8 bestimmt (Fig. 5). Je stärker die Wirkung der Zylinderlinsen 8 ist, desto geringer wirken sich Fluktuationen im System aus. Der Einfluss der sphärisch konvex ausgeführten Faltspiegel 15 ist durch das hohe Brennweitenverhältnis zwischen den langen Spiegelbrennweiten in der Tan-

gentialebene E_{tan} und den kurzen Brennweiten der Zylinderlinsen 9 in der Sagittalebene E_{sag} ausreichend korrigiert. Die in der Sagittalebene E_{sag} starken thermischen Linsen TL_{sag} wirken sich nicht in störender Weise auf die Strahlpropagation im Laserkristall 2 (Fig. 6) und am Ausgang des Verstärkers (Fig. 7) aus. In beiden Fällen sind mit einer Veränderung der Brennweite der starken thermischen Linsen TL_{sag} nur geringfügige Schwankungen der Strahldurchmesser verbunden.

[0043] Gemäß Fig. 8 durchläuft der durch ein Zylinderlinsenteleskop 6 in der Tangentialebene E_{tan} aufgeweitete Laserstrahl 1 schwache thermische Linsen TL_{tan}, wobei eine Korrektur mit Hilfe der sphärisch konvex ausgeführten Faltspiegel 15 erfolgt. Am Verstärkerausgang findet eine Symmetrisierung mit Hilfe des Zylinderlinsenteleskops 23 statt. Zu beachten ist, dass in der Tangentialebene E_{tan} die wesentlich schlechtere Pumpstrahlqualität der langsamen Achse wirksam ist.

Patentansprüche

1. Diodengepumpter Laserverstärker mit mindestens einem laseraktiven Festkörpermedium, das von modenanangepassten Strahlen einer Pumpstrahlung und einer zu verstärkenden Laserstrahlung durchsetzt ist und in dem sich infolge der eingestrahlten Pumpstrahlung eine thermische Linse mit unterschiedlicher Stärke in zueinander senkrechten Ebenen ausbildet, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahl (1) der Laserstrahlung in der Ebene mit starker thermischer Linse fokussiert in das laseraktive Medium gerichtet ist, wobei eine sich bildende Strahltaile im Bereich der thermischen Linse (TL) liegt.
2. Laserverstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Strahltaillenbildung ein in der Ebene mit starker thermischer Linse fokussierendes Element dient, das, mit dem Abstand seiner Brennweite vom Ort der thermischen Linse (TL) entfernt, im Strahlengang der Laserstrahlung angeordnet ist.
3. Laserverstärker nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Pumpstrahlenquelle mindestens eine Laserdiodenzeile (10) eingesetzt ist, bei der Mittel zur Kollimation der schnellen Achse und Mittel zum Fokussieren der Diodenstrahlung in einen elliptischen Pumpfokus zur Erzeugung der in zueinander senkrechten Ebenen mit unterschiedlicher Stärke ausgebildeten thermischen Linse (TL) vorgesehen sind.
4. Laserverstärker nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zur Verbesserung der Strahlqualität der Laserdiodenzeile zusätzlich eine Kollimation der langsamen Achse vorgesehen ist.
5. Laserverstärker nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einstellung der Polarisierung eine $\lambda/2$ -Phasenverzögerungsplatte (12) vorgesehen ist.
6. Laserverstärker nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpstrahlung und die Laserstrahlung durch sich gegenüberliegende Strahldurchtrittsflächen (3, 4) in das laseraktive Festkörpermedium gerichtet sind und die Strahldurchtrittsfläche (4) für die Pumpstrahlung hochreflektierend für die Wellenlänge der Laserstrahlung ausgebildet ist, wodurch die Laserstrahlung nach einer Reflexion erneut durch das laseraktive Festkörpermedium und das fokussierende Element hindurchtritt.
7. Laserverstärker nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass dem Eingang des Verstärkers ein optisches Element zur Laserstrahlaufweitung in der Ebene mit schwacher thermischer Linse vorgeordnet ist.

8. Laserverstärker nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass als optisches Element ein Zylinderlinsen-Galilei-Teleskop (6) dient.
9. Laserverstärker nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass als optisches Element ein anamorphotisches Prismenpaar dient. 5
10. Laserverstärker nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang der Laserstrahlung mindestens ein abbildendes Element zur Kompensation der in der einen Ebene schwachen thermischen Linse am Verstärkerausgang vorgesehen ist. 10
11. Laserverstärker nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das abbildende Element ein am Verstärkerausgang angeordneter, als Faltspiegel (15) ausgelegter Zylinderspiegel ist. 15
12. Laserverstärker nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das abbildende Element ein am Verstärkerausgang angeordneter als Faltspiegel (15) ausgelegter sphärischer Spiegel ist.
13. Laserverstärker nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das abbildende Element eine im Strahlengang des aus dem laseraktiven Festkörpermedium austretenden Laserstrahls angeordnete langbrennweitige konvexe Zylinderlinse ist. 20
14. Laserverstärker nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das abbildende Element eine im Strahlengang des aus dem laseraktiven Festkörpermedium austretenden Laserstrahls angeordnete langbrennweitige sphärische Linse ist. 25
15. Laserverstärker nach Anspruch 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das laseraktive Festkörpermedium ein Nd:YVO₄-Kristall mit 0,5% Dotierung ist. 30
16. Laserverstärker nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpwellenlänge in einem Bereich von 803 nm bis 809 nm liegt. 35

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

40

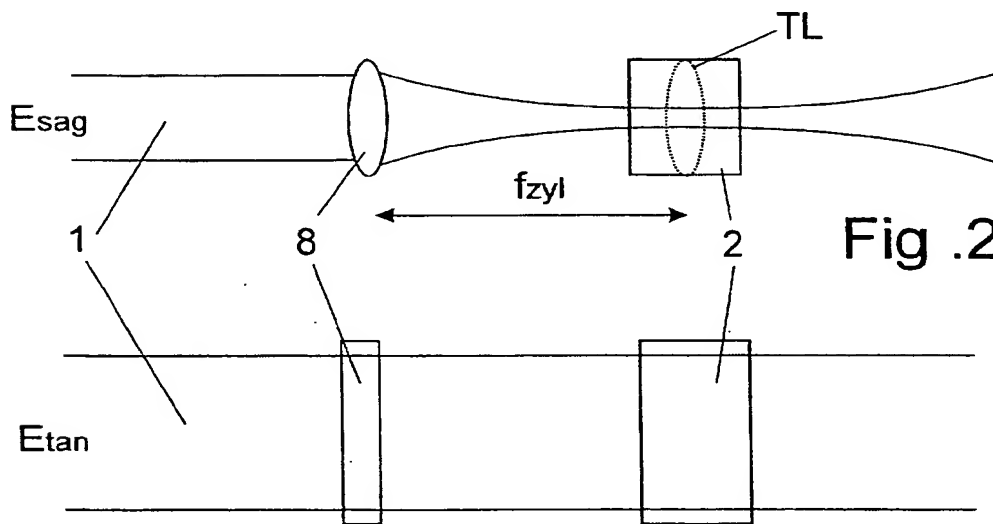
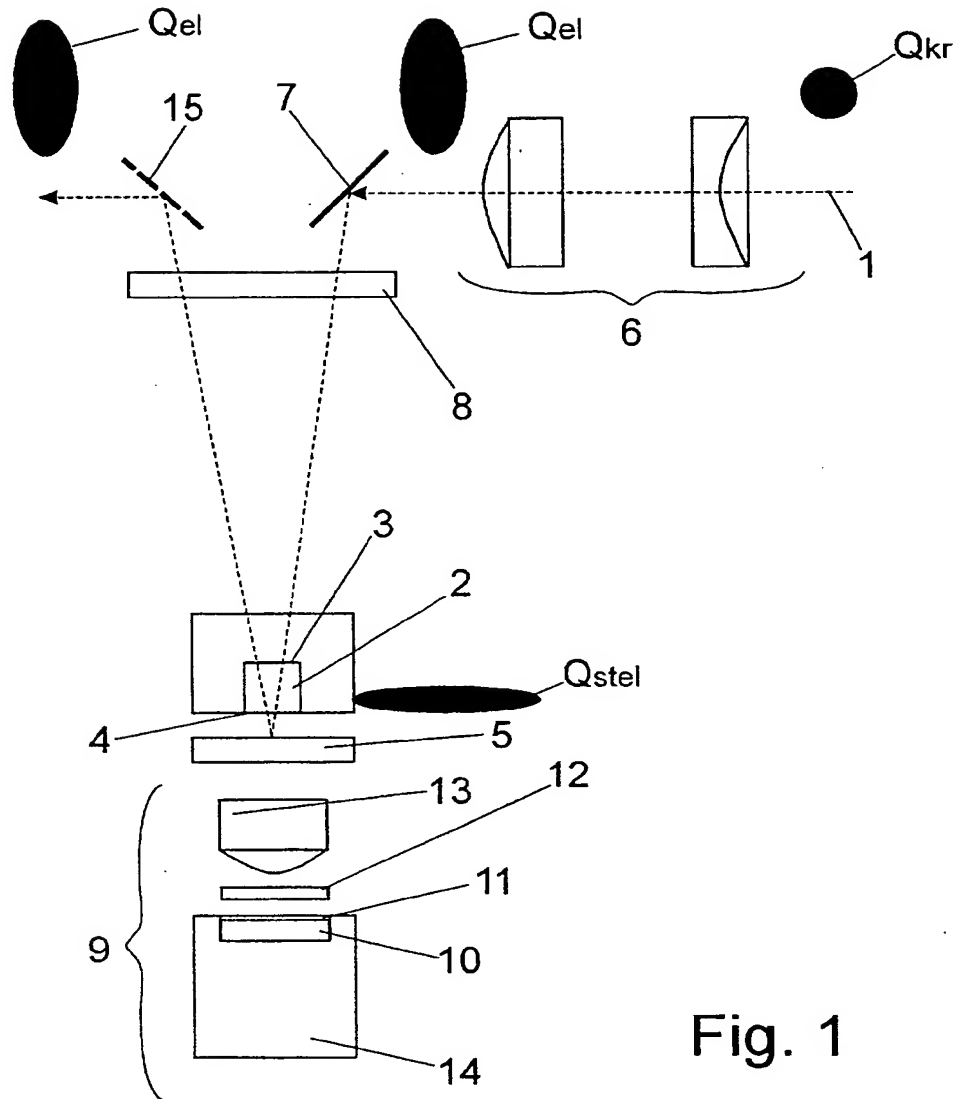
45

50

55

60

65



Etan

Fig. 3

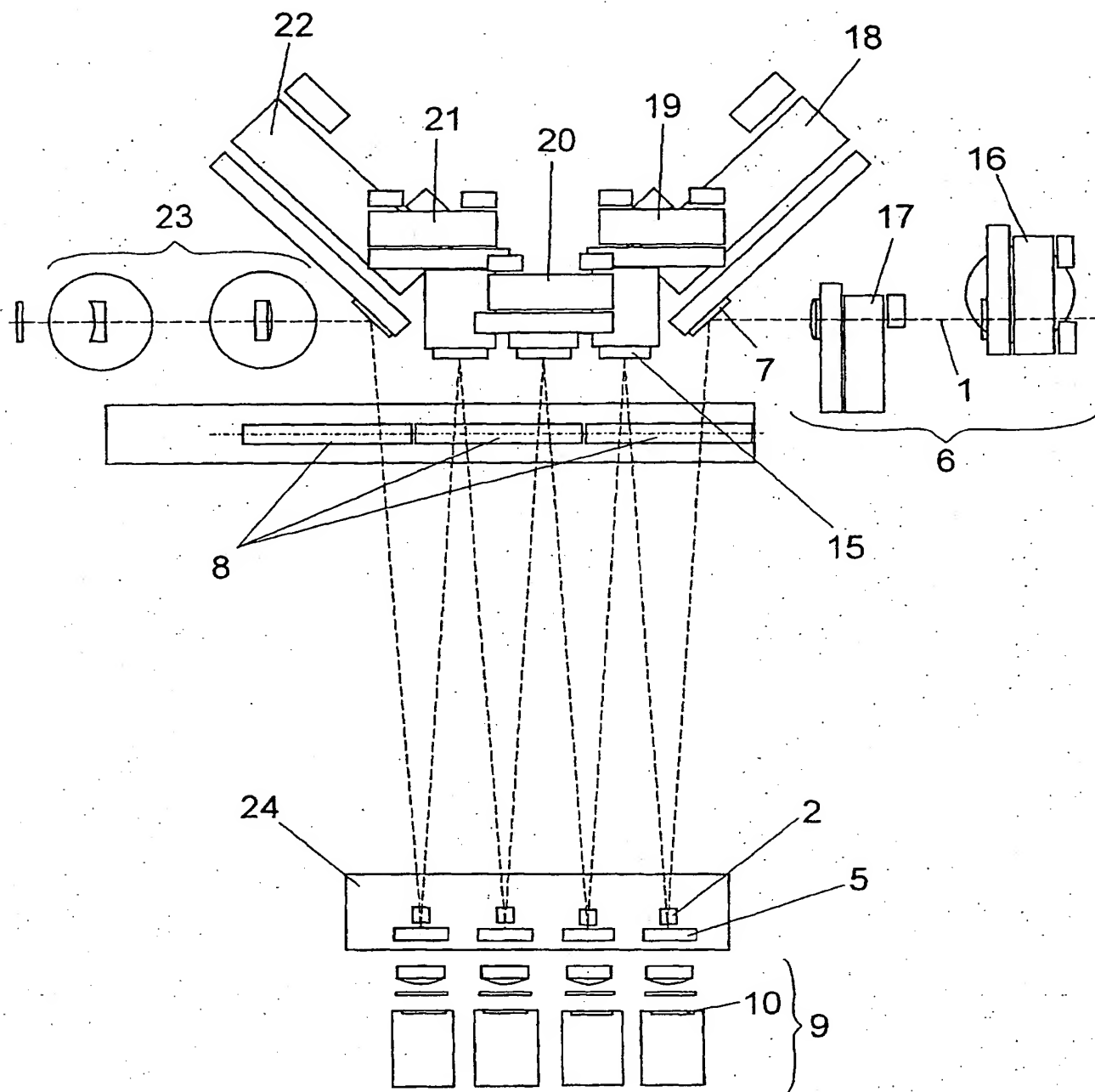


Fig. 4

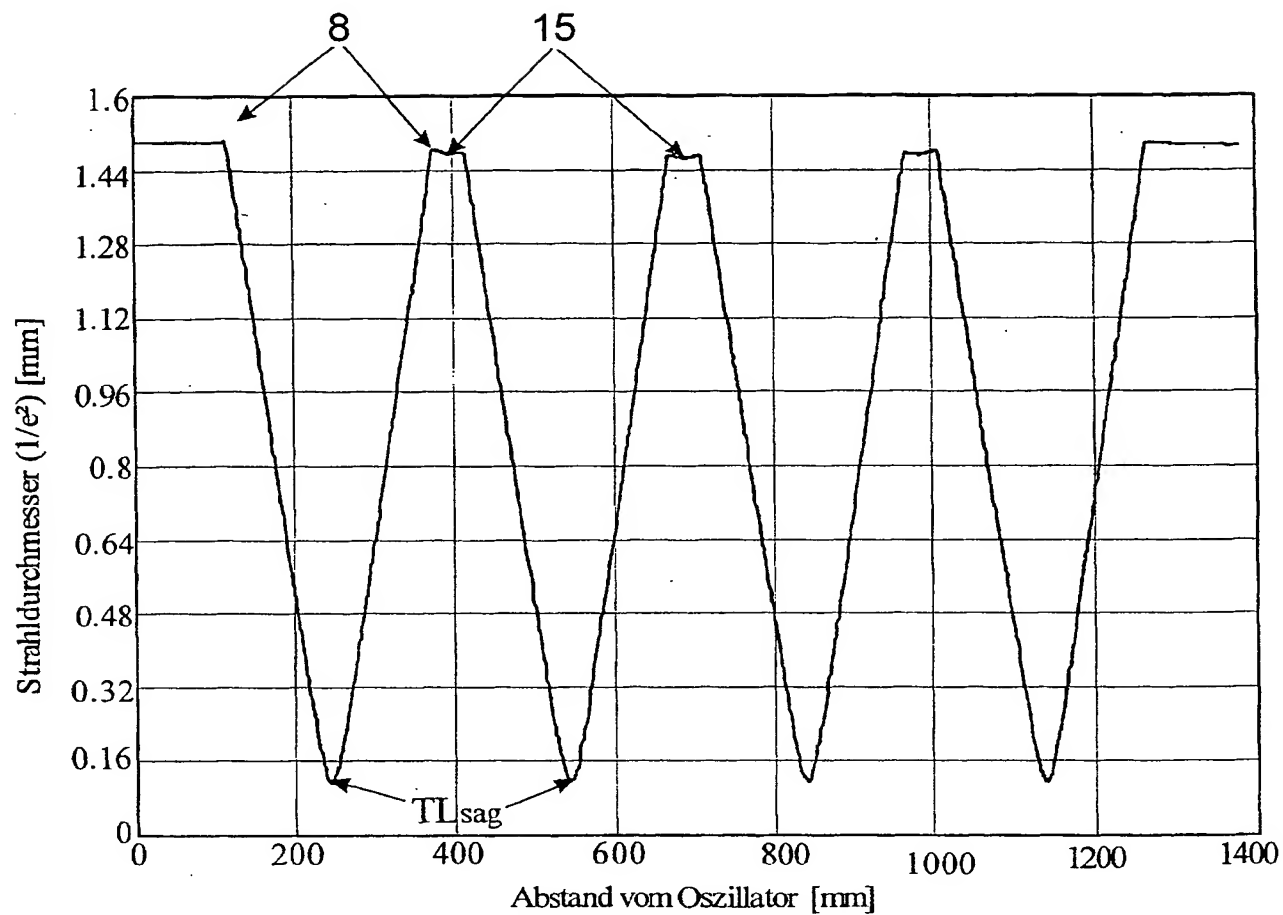


Fig. 5

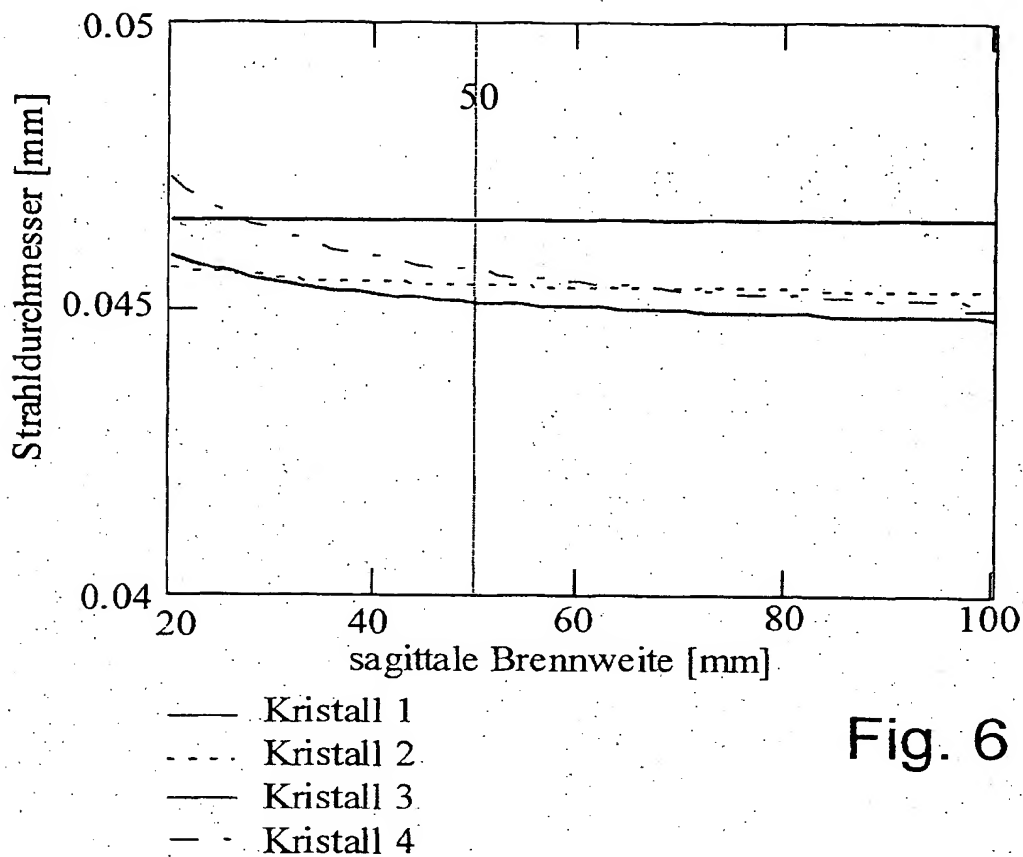


Fig. 6

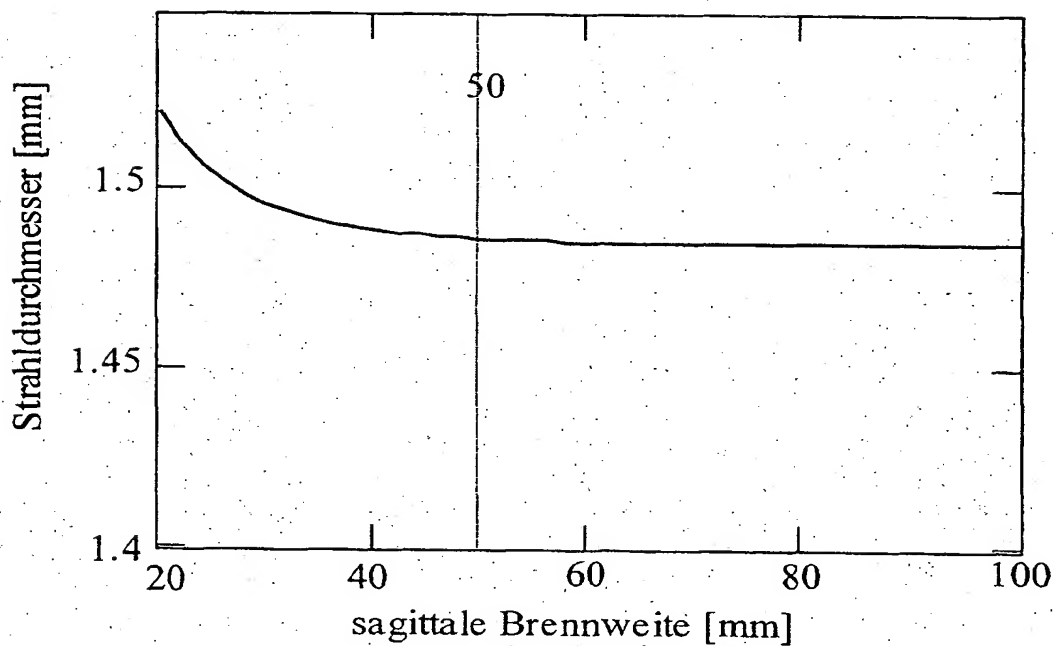


Fig. 7

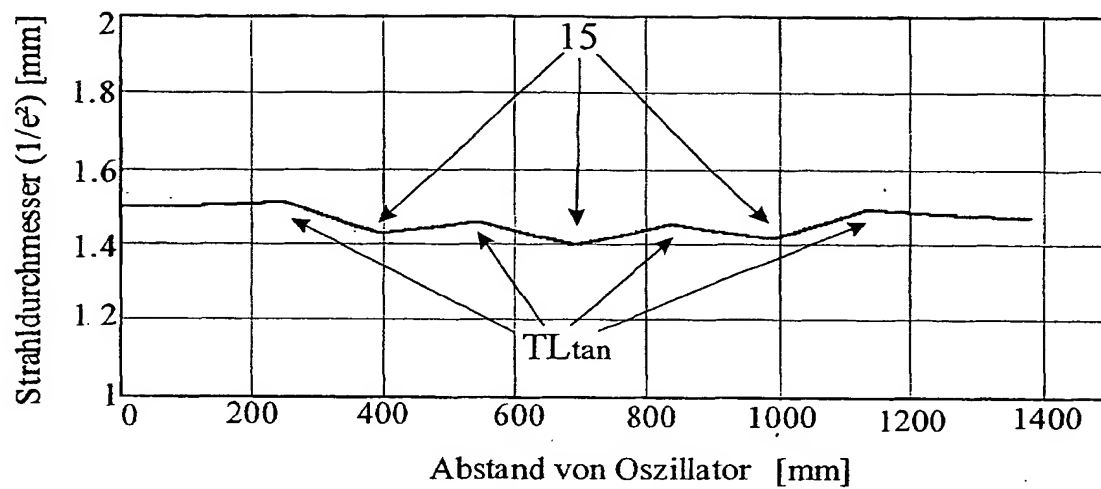


Fig. 8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS.**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)